

Título Un estudio de estabilidad y convergencia en la simulación de desplazamiento agua-petróleo utilizando OpenFOAM

Tipo de Producto Ponencia completa

Autores Soledad Fioroni, Axel E. Larretegui y Gabriela B. Savioli

Publicado en: ENIEF 2017, La Plata.

Código del Proyecto y Título del Proyecto

D16T02 - Simulación de flujo multifásico con efectos geomecánicos para modelar procesos de fracturación hidráulica en reservorios no convencionales

Responsable del Proyecto

Soledad Fioroni

Línea

FC Fluidodinámica Computacional

Área Temática

MYS Modelado y Simulación Computacional (transversal)

Fecha

Noviembre 2017

Un Estudio de Estabilidad y Convergencia en la Simulación de Ensayos de Desplazamiento Agua-Petróleo Utilizando OpenFOAM®

Soledad Fioroni^b Axel E. Larreteguy[†] Gabriela B. Savioli[‡]

^bInstituto de Tecnología, UADE - CONICET, sfioroni@uade.edu.ar

[†]Instituto de Tecnología, UADE, alarreteguy@uade.edu.ar

[‡]Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto del Gas y del Petróleo, gsavioli@fi.uba.ar

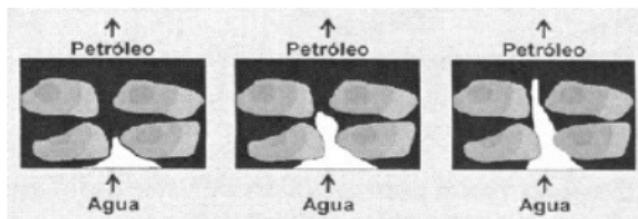


09 de Noviembre de 2017

ENIEF 2017 - Universidad Nacional de La Plata

Introducción

Problema



Objetivo

Estudiar el comportamiento de las soluciones del sistema de ecuaciones no-lineales, que rigen el flujo en medios porosos, al variar el esquema de interpolación temporal.

Casos a Estudiar

- 1D: Solución analítica de Buckley-Leverett
- 2D: Experiencia en una celda de laboratorio

Introducción

Simulación del flujo en medios porosos

Involucra la resolución de las siguientes ecuaciones:

Conservación de masa:

$$\phi \frac{\partial S_i}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{v}_i = q_i$$

Movimiento de Darcy:

$$\mathbf{v}_i = -\frac{\mathbf{K}k_{ri}}{\mu_i} \cdot (\nabla p_i - \rho_i \mathbf{g} \nabla D)$$

($i = o$:petróleo, w :agua, g :gas)

Introducción

porousMultiphaseFOAM ‡

- Herramienta de cálculo dentro de la filosofía de OpenFOAM®.
- Simula flujos bifásicos incompresibles con efectos capilares en medios porosos e isotérmicos.
 - Múltiples hipótesis simplificatorias.
- Restricciones en los pasos temporales:
 - Δt
 - Courant
 - ΔS_{max}

‡ P. HORGUE, C. SOULAINÉ, J. FRANC, R. GUIBERT, AND G. DEBENEST (2015), *An open-source toolbox for multiphase flow in porous media*. Computer Physics Communications, 187, 217-226.

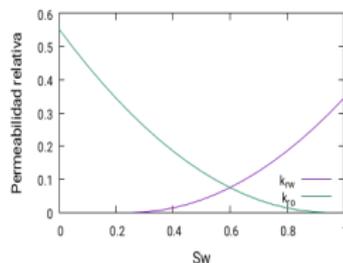
Introducción

Modelo de Permeabilidad y Capilaridad (Brooks And Corey)

Permeabilidades Relativas

$$k_{ra}(S_{b,eff}) = k_{ra}^*(1 - S_{b,eff})^n$$

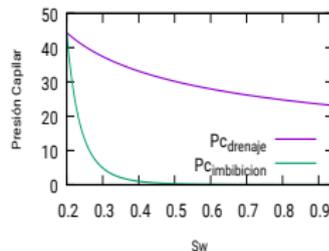
$$k_{rb}(S_{b,eff}) = k_{rb}^* S_{b,eff}^n$$



Capilaridad

$$p_c(S_{b,pc}) = p_{c,0} S_{b,pc}^{-\alpha}$$

$$\text{Con } S_{b,eff} = \frac{S_b - S_{b,irr}}{1 - S_{a,irr} - S_{b,irr}} \text{ y } S_{b,pc} = \frac{S_b - S_{pc,irr}}{S_{pc,max} - S_{b,irr}}$$



Caso Unidimensional

Hipótesis

Flujo	Medio
Bifásico	Homogéneo
1D - Horizontal	Isotérmico
Presión capilar despreciable	Mojable al agua

Testigo lineal: Inyección por el volumen rojo

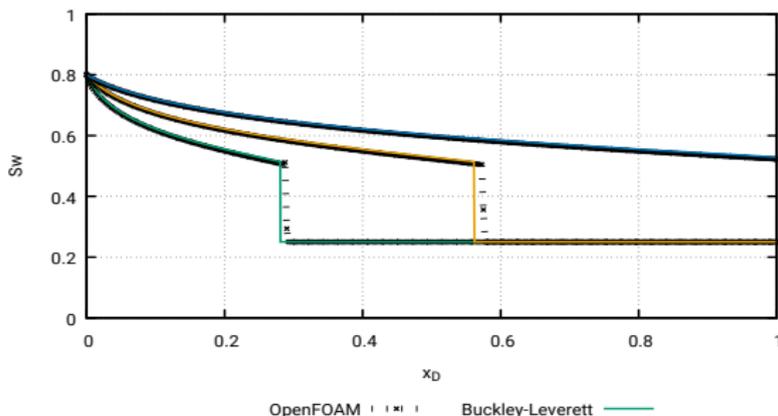


Caso Unidimensional

History Matching (Regresión a partir de datos teóricos o experimentales)

$$k_{ro}(S_w) = 0.9 \left(1 - \frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc} - S_{or}} \right)^2 \quad k_{rw}(S_w) = 0.3 \left(\frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc} - S_{or}} \right)^2$$

Celdas: 400 - $\Delta t = 2s$

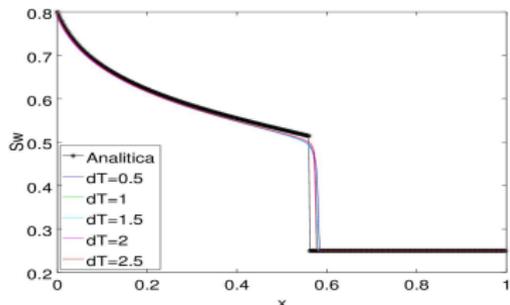


Distribución de saturaciones a $t_D = 0.1; 0.2; 0.4$

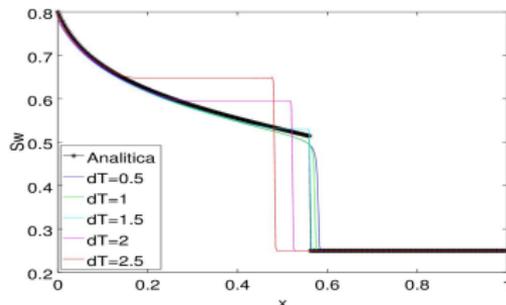
Caso Unidimensional

Restricciones: Δt y Courant

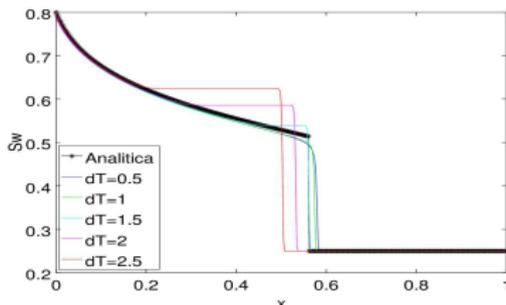
Euler



Crank-Nicolson



Backward

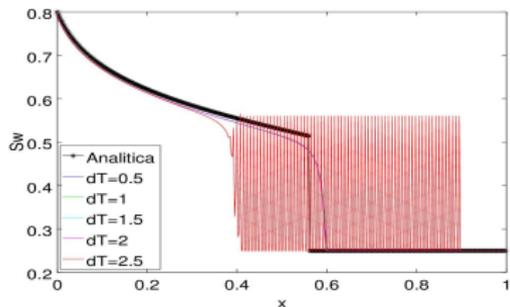


Aparecen soluciones que carecen de sentido físico.

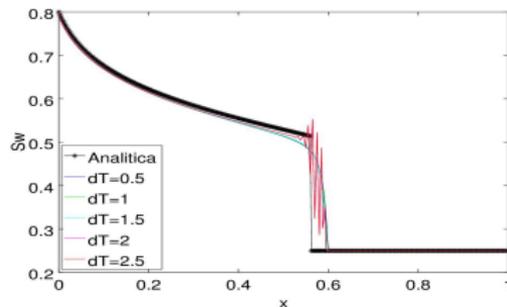
Caso Unidimensional

Restricciones: Δt y Courant - Considerando Pc

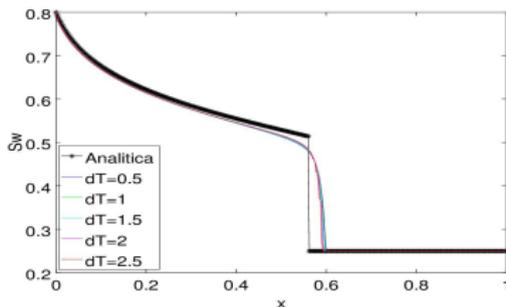
Euler



Crank-Nicolson



Backward

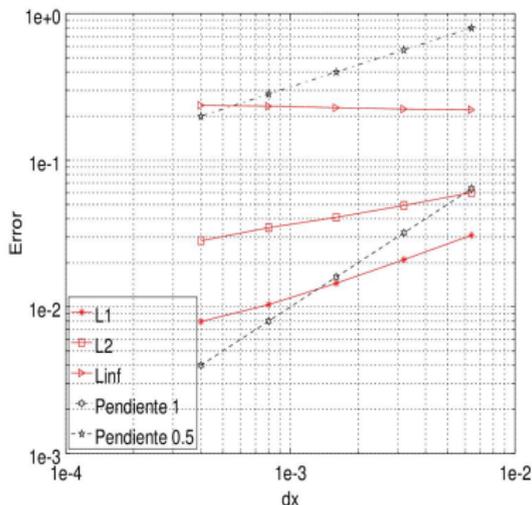
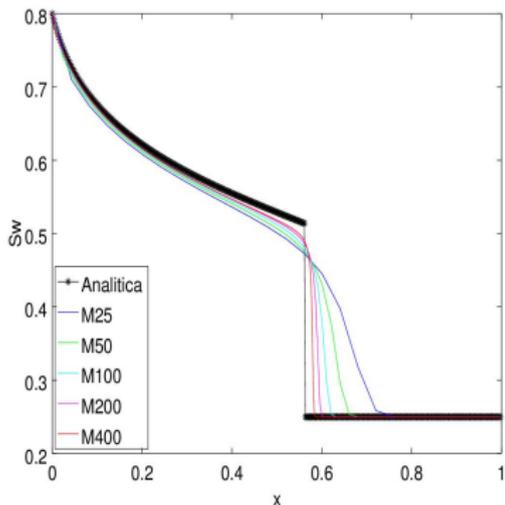


Caso Unidimensional



Influencia del refinamiento de malla

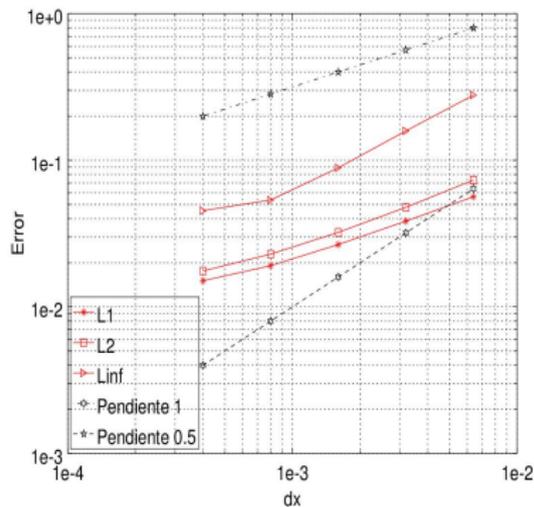
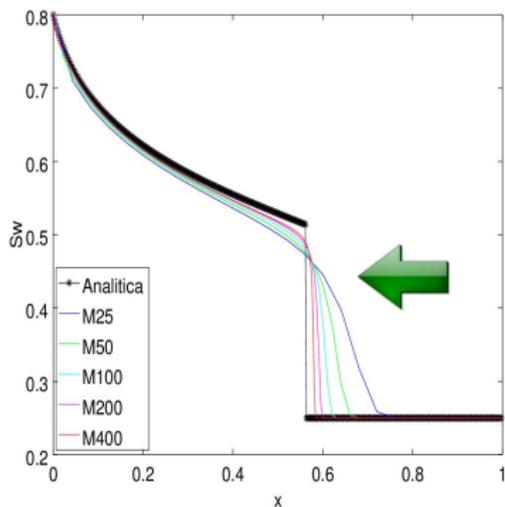
Euler sin P_c – $\Delta t = 0.5s$



Caso Unidimensional

Influencia del refinamiento de malla

Euler sin P_c – $\Delta t = 0.5s$

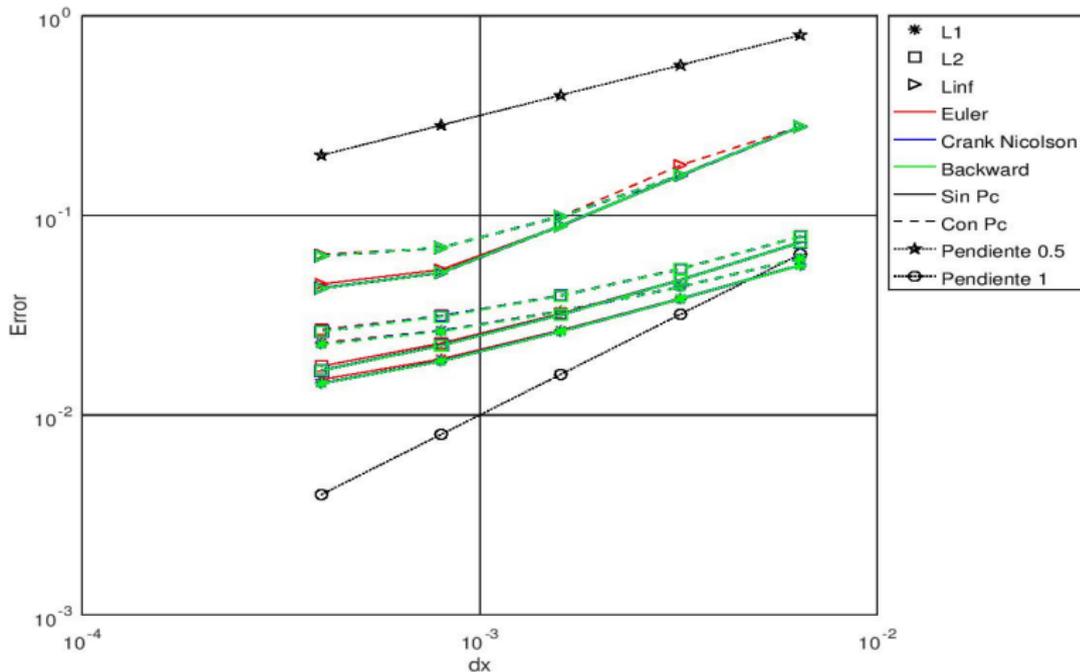


Caso Unidimensional



Influencia del refinamiento de malla

$\Delta t = 0.5s$

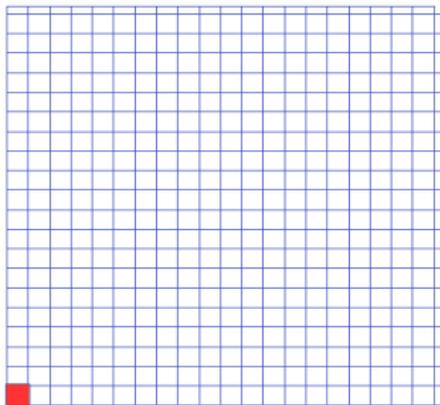


Caso Bidimensional

Celda de Laboratorio

Geometría y Malla

- Pozo inyector: Extremo inferior izquierdo
- Pozo productor: Extremo superior derecho



Procesos a simular

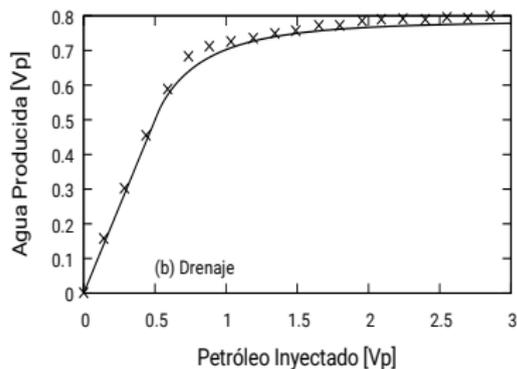
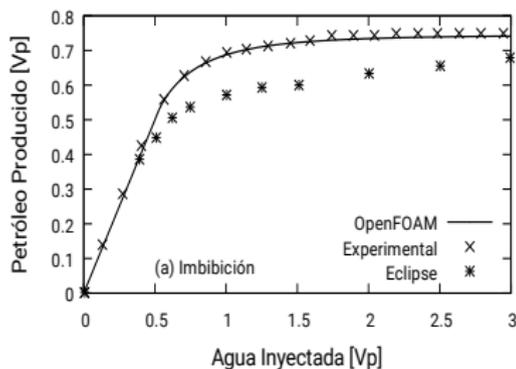
- Drenaje: Desplazamiento de la fase mojanante (agua) por la fase no mojanante (petróleo);
- Imbibición: Desplazamiento de la fase no mojanante por la fase mojanante

Caso Bidimensional

History Matching

$$k_{ro}(S_w) = 0.6 \left(1 - \frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc} - S_{or}} \right)^{1.35} \quad k_{rw}(S_w) = 0.4 \left(\frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc} - S_{or}} \right)^{1.35}$$

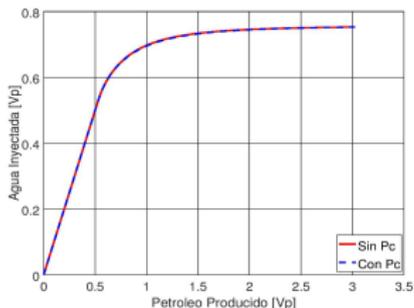
Celdas: 2700 — $\Delta x = 0.004m$ — $\Delta t = 5s$



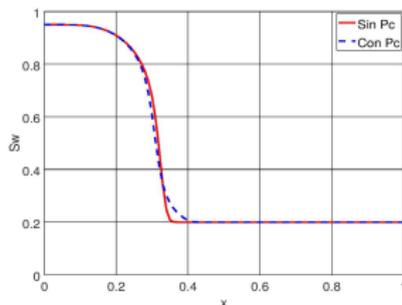
Caso Bidimensional

Imbibición
(Agua desplaza Petróleo)

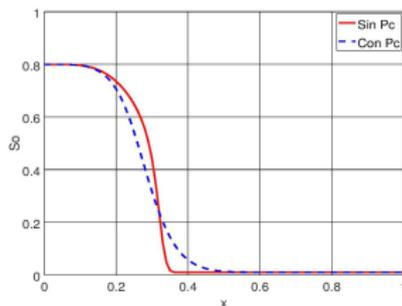
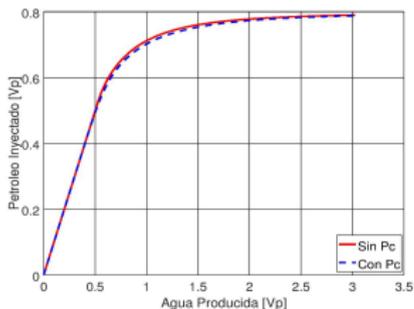
Producción Acumulada



Perfil de Saturación
($t = 0.1V_p$)



Drenaje
(Petróleo desplaza Agua)

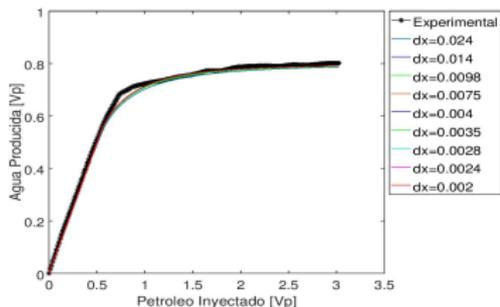


Caso Bidimensional

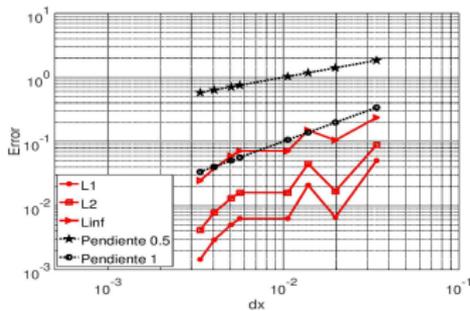
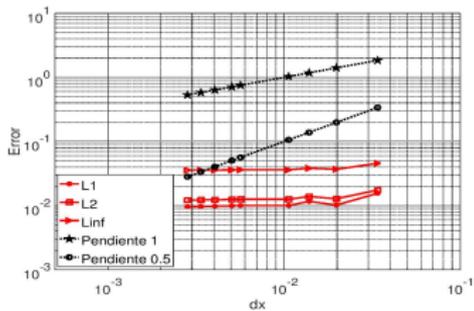
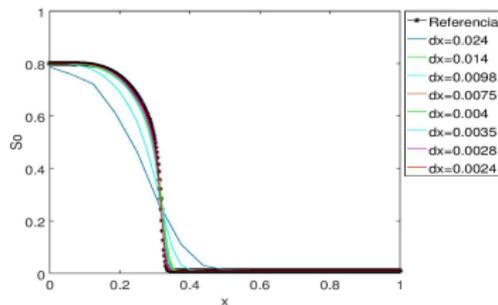


Drenaje (Euler)

Producción Acumulada



Perfil de Saturación ($t = 0.1V_p$)

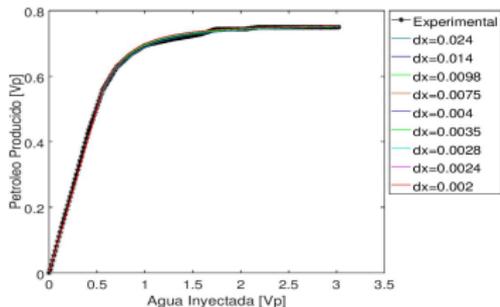


Caso Bidimensional

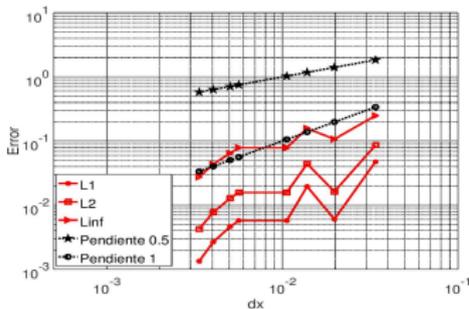
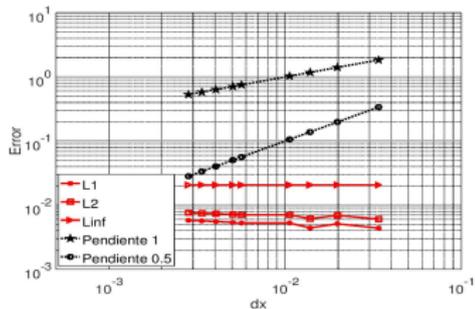
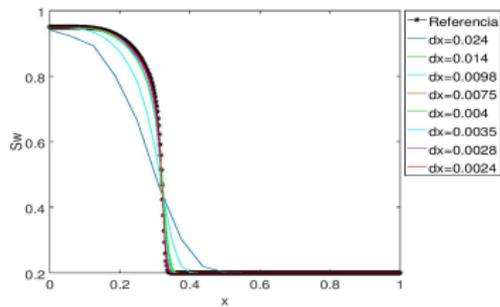


Imbibición (Euler)

Producción Acumulada



Perfil de Saturación ($t = 0.1V_p$)



Caso Bidimensional

Relación entre $\Delta t = 1.5s$ y Δx

Δx	$\Delta t / \Delta x$	$(\Delta t / \Delta x)_{rel}$
0.024	62.5	0.08
0.014	107.14	0.14
0.0098	153.06	0.20
0.0075	200	0.27
0.004	375	0.5
0.0035	428.57	0.57
0.0028	535.71	0.71
0.0024	625	0.83
0.002	750	1

Caso Bidimensional

Relación entre $\Delta t = 1.5s$ y Δx

Δx	$\Delta t / \Delta x$	$(\Delta t / \Delta x)_{rel}$
0.024	62.5	0.08
0.014	107.14	0.14
0.0098	153.06	0.20
0.0075	200	0.27
0.004	375	0.5
0.0035	428.57	0.57
0.0028	535.71	0.71
0.0024	625	0.83
0.002	750	1

Grupo 1
Grupo 2

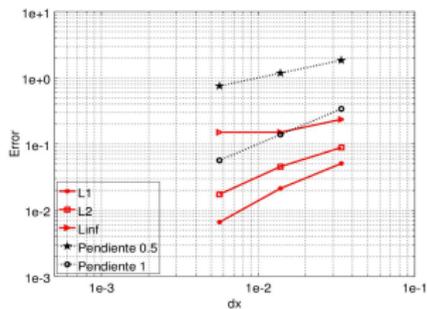
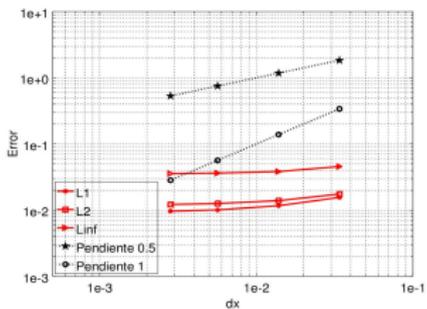
Caso Bidimensional

Drenaje (Euler)

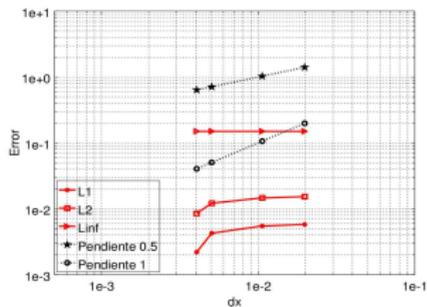
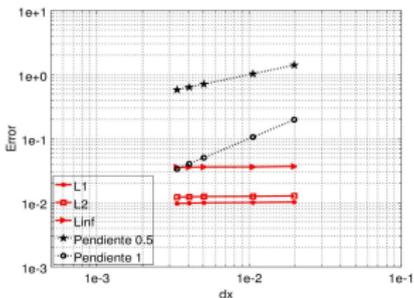
Producción Acumulada

Perfil de Saturación ($t = 0.1V_p$)

Grupo 1



Grupo 2



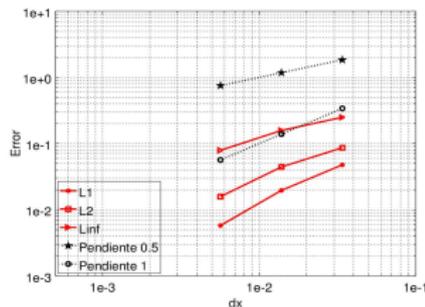
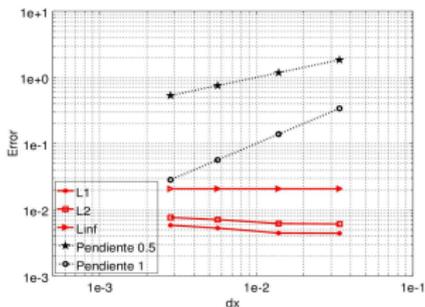
Caso Bidimensional

Imbibición (Euler)

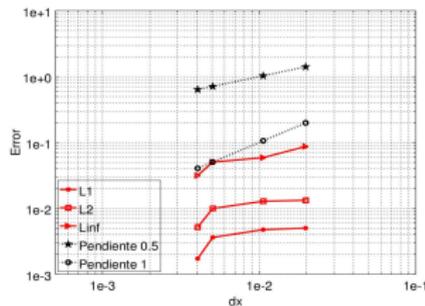
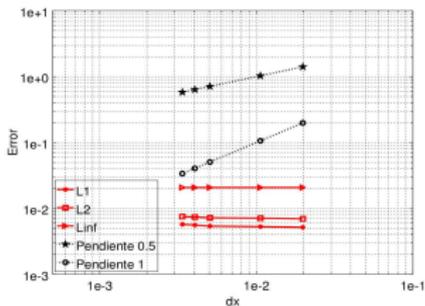
Producción Acumulada

Perfil de Saturación ($t = 0.1Vp$)

Grupo 1



Grupo 2



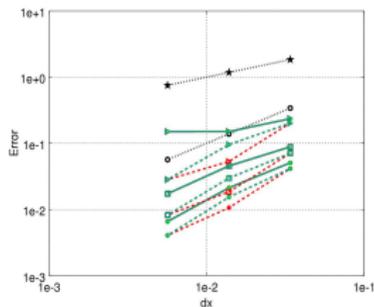
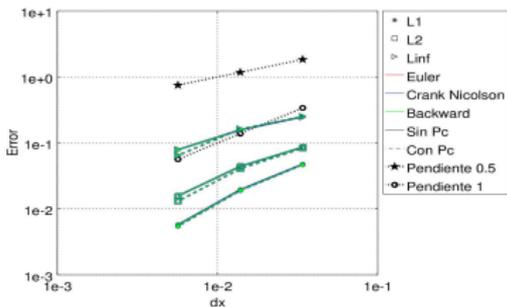
Caso Bidimensional

Comparación en Saturación

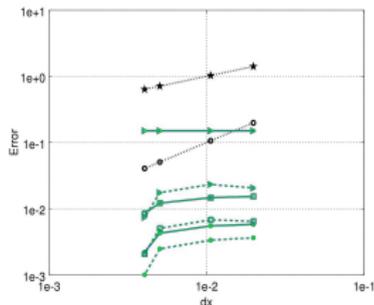
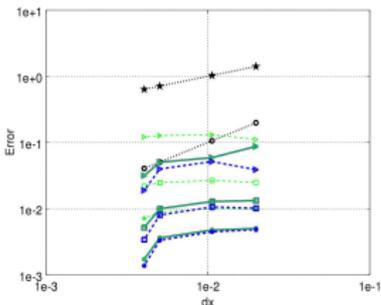
Imbibición

Drenaje

Grupo
1



Grupo
2



Conclusiones



- Buscar la estabilidad y convergencia de la solución no siempre conduce a un resultado con sentido físico
- Tener en cuenta la restricción temporal determinada mediante el ΔS_{max}
- No basta con analizar el error según una sola norma
- Utilizar únicamente los datos de producción acumulada en el history matching no es suficiente
- Estudiar casos que tengan relaciones $\Delta t/\Delta x$ comparables

Gracias por su atención

